

## **Influencia de algunas variables en el ensayo a compresión de probetas testigo en un hormigón autocompactante**



**Lina Rojas<sup>1</sup>**



**Jaime Fernández<sup>2</sup>**



**Juan C. López<sup>3</sup>**

### **RESUMEN**

La estimación de la resistencia a compresión a través de la evaluación de probetas testigo depende de numerosas variables, entre ellas, el diámetro de la probeta testigo, la dirección de extracción en relación con la dirección del hormigonado, el estado de humedad de la probeta testigo en el momento de ser ensayada, la esbeltez de la probeta testigo, la armadura embebida en la probeta testigo y la edad del hormigón investigado.

El objetivo de este trabajo experimental ha sido evaluar, para un hormigón autocompactante, el efecto que presentan algunas de estas variables en el resultado de la resistencia a compresión de las probetas testigo. Estos efectos pueden ser muy diferentes de los que ocurren en el hormigón vibrado, debido a que no existe en este caso un procedimiento específico para la compactación de las probetas moldeadas. Igualmente se han analizado los posibles factores de corrección utilizados en la estimación de la resistencia a compresión de la probeta moldeada a través de la resistencia a compresión de la probeta testigo.

Para ello se han fabricado 30 bloques de 50×50×100 cm en HAC cubriendo un amplio rango de resistencias (20 MPa - 80 MPa), de los cuales se extrajeron un total de 360 probetas testigo. Paralelamente a la ejecución de los bloques se han fabricado 90 probetas cilíndricas de 15×30 cm que posteriormente fueron ensayadas a compresión a la misma edad que las probetas testigo (28 días). Los resultados muestran que algunas de las variables inciden de forma muy diferente en estos hormigones que en los hormigones convencionales, en especial la dirección de extracción y el coeficiente de paso para considerar la resistencia en probeta moldeada.

### **PALABRAS CLAVE**

Hormigón autocompactante. Resistencia a compresión. Probeta testigo. Probeta moldeada

<sup>1</sup> Universidad Politécnica de Madrid, Departamento de Ingeniería Civil: Construcción, Profesor Aranguren S/N, España. [lina.rojas.henao@alumnos.upm.es](mailto:lina.rojas.henao@alumnos.upm.es)

<sup>2</sup> Universidad Politécnica de Madrid, Departamento de Ingeniería Civil: Construcción, Profesor Aranguren S/N, España. [jfernandez@caminos.upm.es](mailto:jfernandez@caminos.upm.es)

<sup>3</sup> Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones, IECA, José Abascal 53, España. [direccion@ieca.es](mailto:direccion@ieca.es)

## **1. INTRODUCCIÓN**

Los parámetros empleados para la evaluación de los resultados de la resistencia a compresión de las probetas testigo en hormigones convencionales, se han generalizado, sin importar la evolución que ha tenido el hormigón con la entrada de los hormigones especiales, en concreto el HAC. A partir de esta complejidad surgen varias cuestiones, entre las que podemos citar las siguientes: ver si los efectos presentados por la extracción de testigos en un HAC son los mismos que en los HC, comprobar si los valores que corrigen la resistencia obtenida por el ensayo a compresión de probetas testigo en un HC son aplicables a un HAC, analizar si la diferencia entre la resistencia a compresión de probetas moldeadas y probetas testigo es menor en un HAC que en un HC, determinar si el efecto que presenta la densidad de armadura en el momento del hormigonado en piezas de HAC puede afectar el resultado de resistencia a compresión.

La necesidad de encontrar respuesta a algunas estas incógnitas, motivaron a realizar este trabajo experimental.

A pesar de que existen numerosas variables que influyen en la estimación de la resistencia a compresión de las probetas testigo, en esta investigación se han considerado aquellas que según investigaciones previas en HC eran las más significativas, con la finalidad de estudiar su comportamiento en un HAC. Las variables estudiadas fueron el diámetro, la dirección de extracción y el estado de humedad de la probeta testigo. También ha sido objeto de estudio el nivel resistente del hormigón que se investiga y el comportamiento que supone la restricción de la armadura al paso del hormigón en el resultado de resistencia a compresión de las probetas testigo.

## **2. PROGRAMA EXPERIMENTAL**

### **2.1 Descripción de la campaña experimental:**

Se han fabricado 30 bloques de dimensiones  $50 \times 50 \times 100$  cm en HAC. El rango de resistencias obtenido varió entre 20 MPa y 80 MPa. Paralelamente a la ejecución de estos bloques se han fabricado tres probetas cilíndricas de  $15 \times 30$  cm por cada bloque, resultando un total de 90 probetas moldeadas.

Para simular el hormigonado con altas cuantías de armadura, 14 de los 30 bloques fueron fabricados vertiendo el HAC a través de una malla de barras  $\varnothing 12$  mm en dos direcciones con una cuadrícula doble de  $20 \times 20$  mm situada sobre el borde superior del encofrado. La separación entre barras se definió para cumplir el espaciamiento mínimo exigido por la normativa.

De cada uno de los bloques se han extraído 12 probetas testigo, de las cuales seis fueron perforadas en sentido perpendicular (horizontal) y las otras seis en sentido paralelo (vertical) al vertido del HAC. Para cada dirección de extracción se consideraron tres parejas de testigos con diferentes diámetros, es decir, dos de diámetro 50 mm, dos de diámetro 75 mm y dos de diámetro 100 mm. El esquema de estas perforaciones se muestra en la Figura 1.

En total se extrajeron 360 probetas testigo, las cuales fueron sometidas al ensayo de compresión una vez cumplidos los 28 días.

Tanto la extracción como el ensayo de las probetas moldeadas y testigos se han realizado en el Laboratorio Central del Instituto Técnico de Materiales y Construcciones (INTEMAC).

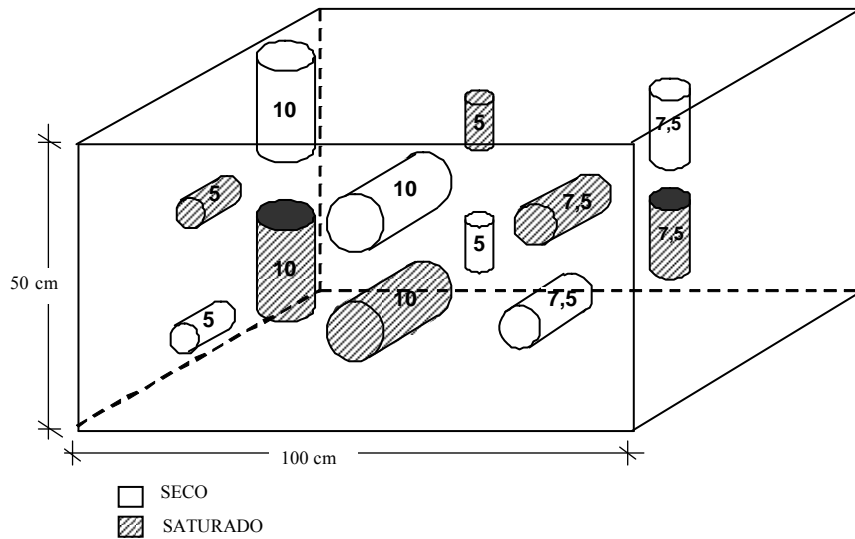


Figura 1. Esquema de la extracción de las probetas testigo del bloque de hormigón autocompactante combinando las diferentes variables.

## 2.2 Variables estudiadas:

Las variables estudiadas en esta investigación fueron las siguientes:

- Diámetro del testigo:  $\phi_1 = 50$  mm,  $\phi_2 = 75$  mm y  $\phi_3 = 100$  mm.
- Dirección de la extracción del testigo (*DIR*): horizontal (*H*) y vertical (*V*).
- Estado de humedad de los testigos en el momento de la rotura: saturado (*SAT*) y seco (*SEC*).
- Restricción al paso del hormigón por medio de una malla en acero de refuerzo  $\Phi 12-20 \times 20$  mm: sin restricción de armadura (*SinR*) y con restricción de armadura (*ConR*).
- Nivel de resistencia del hormigón: la resistencia del hormigón se ha estudiado como una variable continua en un rango de 20 MPa a 80 MPa.

## 2.3 Materiales:

Los bloques de  $50 \times 50 \times 100$  cm y las probetas cilíndricas de  $15 \times 30$  cm, fueron fabricados por la empresa de prefabricación PRAINSA.

Las dosificaciones para el hormigonado de los bloques y probetas moldeadas fueron las utilizadas por el fabricante PRAINSA en la producción habitual de sus piezas prefabricadas. Incluye hormigones de diferentes resistencias que responden al empleo de las siguientes dosificaciones:

Tabla 1. Dosificaciones de hormigón autocompactante especificadas por el fabricante.

Árido fino (kg)	Árido grueso (kg)	Cemento I52.5R (kg)	Aditivo (litros)	Filler (kg)	Agua Máx. (litros)	Relación A/C Máx.
800-943	720-840	330-420	6-7	150-200	150-190	0,38-0,55

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Las Tablas 2 y 3 muestran los resultados de la resistencia a compresión de las probetas testigo y de las probetas moldeadas cilíndricas, correspondientes a los bloques hormigonados libremente y a través del paso de armaduras.

Tabla 2. Resultados de resistencia a compresión de probetas testigo y probetas moldeadas.

*Influencia de algunas variables en el ensayo a compresión de probetas testigo en un Hormigón Autocompactante*

**HAC sin restricción de armadura**

Pieza	$f_{c,tes}$ (Mpa)												$f_{c,cil}$ (Mpa)
	Seco						Saturado						
	H			V			H			V			
	5 cm	7,5 cm	10 cm	5 cm	7,5 cm	10 cm	5 cm	7,5 cm	10 cm	5 cm	7,5 cm	10 cm	
1	47,4	40,6	42,8	47,1	35,1	43,5	-	33,6	31,7	36,3	38,1	36,9	38,85
2	55,9	50,2	51,8	52,1	46,2	50,2	41	44,8	43,6	42	38,5	35,5	50,7
3	31	25,7	24,2	32,6	25,4	24,2	18,2	18,6	20,7	-	22,1	20,1	25,9
4	26,3	23	25	24,4	22,2	24	22,4	18,5	22,7	18,6	18,5	20,1	21
5	42,9	48,6	39,2	44,7	47,5	45,1	41,5	33,7	42,2	41,7	39,5	35,5	44,3
6	54,2	51,6	65,3	60,2	64	66,3	56,1	48,6	57	60,4	40,6	60	66,6
7	56,1	56,9	61,7	51,3	58,6	57,3	46,2	53,7	55,1	49	51,5	54	61,4
8	46,8	47,2	51,4	53	51,9	49,1	35	45,1	47,3	44,5	43,5	46,3	53
9	68,7	65,4	63,2	59,2	67,2	66,7	40,9	61,2	61,7	-	56,6	57,4	63,9
10	70,7	66,9	62,9	50,7	51,8	69	-	43,6	57,8	44,6	55,2	63,3	68,2
11	63,1	61,7	65,1	62,4	59,5	58,3	52,9	53,4	54,7	50,3	53,6	52,4	75,9
12	56,3	44,1	49,6	54,1	54,7	54,7	41,8	43,8	47,6	50,8	40,5	48,7	56,5
13	43,5	44,1	47,9	45,5	44	40,6	35,2	33,9	41,7	35	42,1	39,5	46
14	65,8	62,8	65,5	70,5	65,2	73,1	-	59,7	59,3	63,5	61,9	68,7	72
15	65,3	65,6	64,2	63,1	67,5	67,4	51,4	51,3	56,7	59,1	57,5	51,1	72,7
16	-	65,1	64,6	53,8	61,5	57,7	57,6	54,6	60,5	51,6	42,4	60,8	68

Tabla 3. Resultados de resistencia a compresión de probetas testigo y probetas moldeadas.

**HAC con restricción de armadura**

Pieza	$f_{c,tes}$ (Mpa)												$f_{c,cil}$ (Mpa)
	Seco						Saturado						
	H			V			H			V			
	5 cm	7,5 cm	10 cm	5 cm	7,5 cm	10 cm	5 cm	7,5 cm	10 cm	5 cm	7,5 cm	10 cm	
17	48,10	44,70	45,70	55,80	46,00	56,20	40,40	40,80	51,90	37,60	44,30	49,10	58
18	51,90	54,50	59,10	50,70	49,30	55,40	46,50	50,30	41,70	49,30	48,20	37,90	53,6
19	59,60	53,80	56,50	52,40	57,30	50,40	48,50	41,30	40,20	42,60	49,60	48,30	57,5
20	48,30	42,40	44,30	45,00	40,10	43,60	40,20	35,90	38,90	32,50	32,50	42,80	51
21	55,80	56,00	44,00	50,60	49,70	54,30	49,70	49,30	39,70	46,40	43,00	41,80	55,1
22	50,60	54,30	55,50	43,30	55,90	55,50	42,80	42,30	48,90	41,30	40,30	50,10	58
23	56,10	51,30	57,20	51,60	48,30	53,60	48,30	46,10	47,50	37,20	41,90	47,30	53,5
24	64,80	58,50	62,50	59,70	60,50	61,60	-	-	53,10	59,70	55,90	55,50	74,6
25	72,70	62,70	63,90	72,40	52,60	68,10	56,40	60,10	50,70	49,30	46,80	54,90	71,7
26	53,80	52,30	59,10	44,90	41,20	51,00	44,20	43,80	38,90	48,20	45,20	49,20	51,2
27	64,80	69,10	60,50	66,40	66,00	60,10	52,40	45,10	57,80	58,40	53,70	53,00	69,9
28	62,60	57,50	58,70	63,00	-	61,40	42,90	55,90	57,30	55,60	51,00	48,60	63,7
29	59,90	68,80	-	-	71,20	74,80	49,50	-	63,00	53,30	58,10	59,50	73,6
30	62,20	60,30	55,80	56,20	55,00	56,00	48,10	48,10	48,40	50,00	51,20	53,40	67,7

### 3.1 Estimación de la resistencia a compresión de la probeta moldeada en función de la resistencia del testigo y de las variables estudiadas:

A través de un análisis de regresión lineal múltiple se ha analizado la influencia de las variables empleadas en la estimación de la resistencia a compresión de la probeta moldeada. En este análisis se estimó la resistencia a compresión de una probeta moldeada cilíndrica,  $f_{c,cil}$ , (variable explicada), en función de la resistencia a compresión de la probeta testigo,  $f_{c,tes}$ , del diámetro del testigo,  $\phi$ , de la dirección de la extracción,  $DIR$ , estado de saturación,  $SAT$  y restricción al paso del hormigón,  $REST$  (variables explicativas).

El total de datos considerados para el análisis estadístico fue de  $N = 347$ . A través de los residuos estandarizados, resultado de la regresión lineal, fue posible realizar una depuración de los valores atípicos, encontrando un total de trece. Es decir que de los 360 resultados obtenidos de  $f_{c,tes}$ , se detectó un 3,6% de valores atípicos, porcentaje que se considera razonable.

Por medio del método de mínimos cuadrados ordinarios (MCO), y considerando un nivel de significación del 0,05, se obtiene la siguiente ecuación:

$$f_{c,cil} = -0,41 + 1,08f_{c,tes} - 0,02\phi^2 + 0,31DIR + 8,20SAT + 2,23REST \quad (1)$$

Los resultados de la regresión lineal indicaron que la variable dirección de extracción ( $DIR$ ) no es significativa para la estimación de la resistencia a compresión, y por tanto debe ser eliminada del modelo completo de la ecuación 'Ec. (1)'. Para el resto de las variables se rechaza la hipótesis nula diciendo que los coeficientes asociados a las variables  $f_{c,tes}$ ,  $\phi^2$ ,  $SAT$  y  $REST$  son significativos. En definitiva la variable estudiada más influyente es el estado de humedad de la probeta testigo.

### 3.2 Influencia del nivel resistente en la estimación de la resistencia relativa $f_{c,tes}/f_{c,cil}$ :

Considerando como variable explicada la resistencia relativa  $f_{c,tes}/f_{c,cil}$  y variable explicativa la resistencia a compresión de las probetas moldeadas cilíndricas  $f_{c,cil}$  en un análisis de regresión lineal simple, se construye el siguiente modelo:

$$\frac{f_{c,tes}}{f_{c,cil}} = 1,214 - 0,0045f_{c,cil} \quad (2)$$

Dado que la resistencia de las probetas moldeadas es una variable aleatoria continua, se construye la Tabla 4 a partir de la ecuación 'Ec. (2)', con el fin de determinar la influencia del nivel de resistencia del hormigón que se investiga en la estimación de la resistencia relativa  $f_{c,tes}/f_{c,cil}$ .

De los resultados obtenidos en la Tabla 4 se generaron dos grupos según la frecuencia de los datos. El primer grupo lo componen los cuatro primeros intervalos, es decir las resistencias  $\leq 60$  MPa y el segundo grupo los últimos dos intervalos, es decir las resistencias  $> 60$  MPa.

*Influencia de algunas variables en el ensayo a compresión de probetas testigo en un Hormigón Autocompactante*

Tabla 4. Valores de relación  $f_{c,tes}/f_{c,cil}$  en función del nivel de resistencia del hormigón que se investiga

Intervalo de $f_{c,cil}$ (Mpa)	Marca de clase (Mpa)	Frecuencia	Estimación de $f_{c,tes}/f_{c,cil}$
20-30	25	12	1,10
30-40	35	6	1,06
40-50	45	12	1,01
50-60	55	18	0,97
60-70	65	30	0,92
70-80	75	18	0,87

Si se calculan los valores medios de la resistencia relativa  $f_{c,tes}/f_{c,cil}$  por cada grupo, obtenemos lo siguiente:

Resistencias  $\leq 60$  MPa  $\rightarrow 1,03$   
Resistencias  $> 60$  MPa  $\rightarrow 0,90$

Los valores obtenidos para el HAC en estudio indicaron que la resistencia  $f_{c,cil}$ , es inversamente proporcional a la relación  $f_{c,tes}/f_{c,cil}$ , este comportamiento se presenta en los HC estudiados por otros investigadores [17] y [18] ('Fig.2').

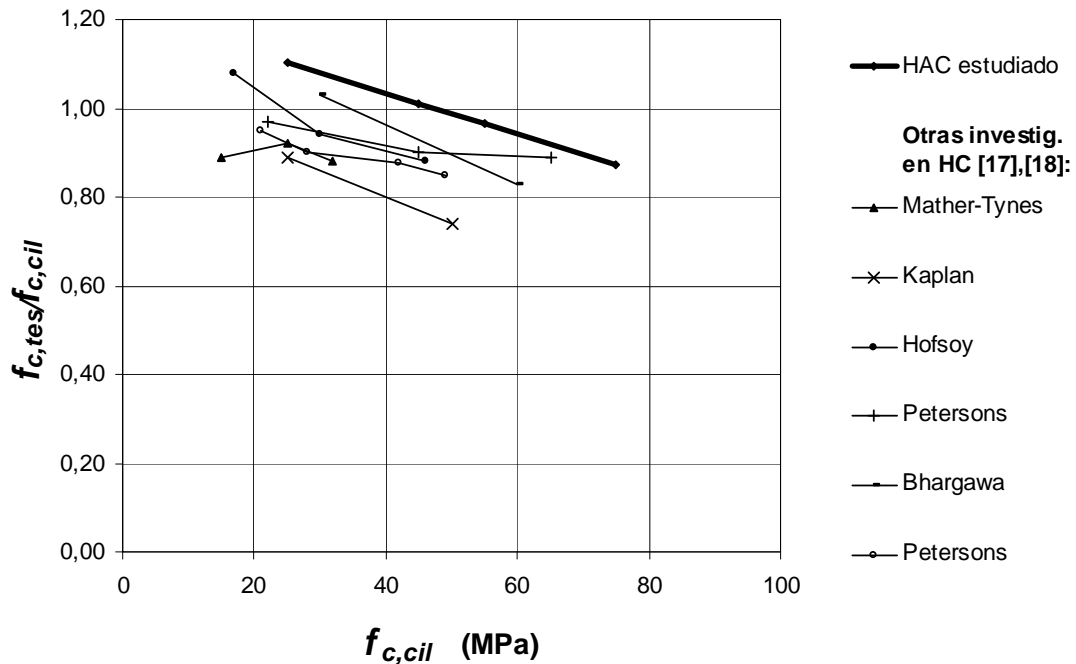


Figura 2. Comparación entre el HAC estudiado y los HC de otras investigaciones.

La Figura 2 recoge los resultados de algunas investigaciones desarrolladas al HC y citadas por Petersons [18], [17]. Sobre este gráfico se trasladó la línea de tendencia de los resultados obtenidos para el HAC estudiado, con la finalidad de compararla con otros resultados aplicados al HC. Se

observa que los valores correspondientes al HAC presentan la misma tendencia que los valores correspondientes al HC, donde la resistencia de la probeta testigo expresada en porcentaje de la obtenida en probeta moldeada cilíndrica, disminuye al aumentar el nivel de resistencia del hormigón. La gran diferencia radica en que la línea de tendencia del HAC está por encima de todos los puntos correspondientes al HC, observando que para el HAC se obtienen valores  $f_{c,tes}/f_{c,cil}$  mayores que en el HC. Todo esto indica que en el HAC estudiado, la diferencia entre la resistencia de las probetas testigo y las moldeadas es menor que en un HC, debido a que las condiciones de compactación fueron iguales tanto para las piezas de HAC de  $50 \times 50 \times 100$  cm, como para las probetas moldeadas.

### 3.3 Efecto de las variables estudiadas en el resultado a compresión de los testigos:

El diagrama de barras de la 'Fig.3' muestra los valores medios de la resistencia a compresión de las probetas testigos en función de las variables: diámetro, estado de humedad y dirección de extracción de la probeta testigo. En términos generales se observa que la variable menos influyente es la dirección de extracción, obteniendo resultados similares entre la dirección horizontal y vertical. En cambio la variable más influyente es el estado de humedad de los testigos donde se observan diferencias importantes entre el estado seco y el saturado.

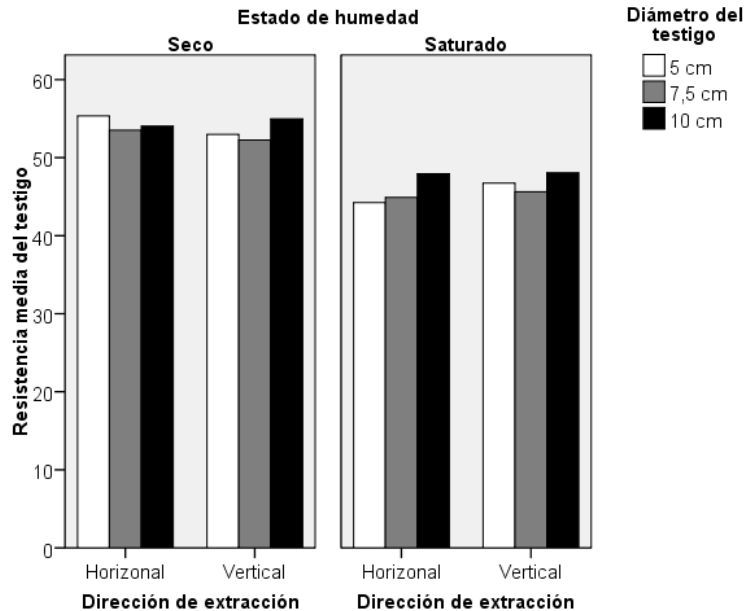


Figura 3. Diagrama de barras con los valores medios de la resistencia de los testigos en función de las diferentes variables estudiadas.

Para analizar con mayor claridad la influencia de las variables y con el fin de comparar los resultados obtenidos para el HAC estudiado con los resultados de otras investigaciones similares en los HC, se han determinado las resistencias relativas entre variables. Estas se describen a continuación:

Tabla 5. Valores medios de resistencias relativas de los testigos.

<i>Variable</i>	<i>Resistencia Relativa</i>	<i>HAC</i>	<i>HC</i> <sup>(1)</sup>
Dirección	$f_{c,V} / f_{c,H}$	1%	5-10%
Estado de humedad	$f_{c,SEC} / f_{c,SAT}$	13-22%	10-25%
Diámetro	$f_{c,\Phi1} / f_{c,\Phi2}$	$\leq 5\%$	$\leq 6\%$

(1) Rango de valores de investigaciones existentes

En la Tabla 5 se observa que en el HAC estudiado los resultados de la resistencia entre las dos direcciones (horizontal y vertical) es prácticamente la misma, en cambio para el HC de otras investigaciones se presentaron diferencias entre un 5-10%. En el caso del estado de humedad, en el HAC la resistencia en estado seco es superior a la resistencia en estado saturado entre un 13 y 22%, estos valores están dentro del rango obtenido por otras investigaciones realizadas al HC. Y para el diámetro del testigo las diferencias encontradas entre los diámetros estudiados (5 cm, 7,5 cm y 10 cm), son inferiores al 5% en el HAC, prácticamente el mismo resultado obtenido para los HC de otras investigaciones.

En cuanto a la influencia de la restricción de armadura en el hormigonado, en la 'Fig.4' se recogen los valores medios de la resistencia relativa  $f_{c,tes} / f_{c,cil}$ . Puede verse que la diferencia de las resistencias relativas entre los bloques hormigonados sin restricción de armadura (*SinR*) y con restricción de armadura (*ConR*), no supera el 5% para cada condición de humedad. En esta figura también se observa que la diferencia entre el estado de humedad seco y saturado es aproximadamente del 14%.

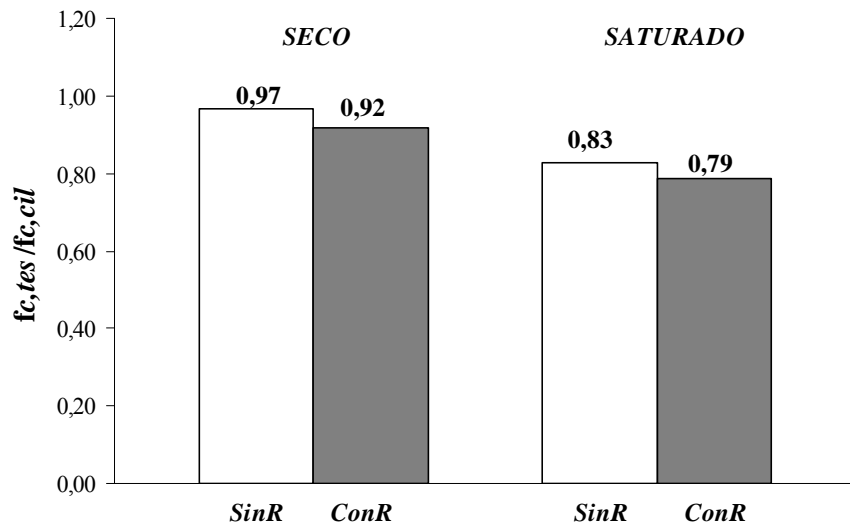


Figura 4. Comportamiento de la restricción de la armadura al paso del hormigón.

#### 4. CONCLUSIONES

- La dirección de extracción de los testigos en relación con la dirección de hormigonado no resulta influyente en el resultado de resistencia del hormigón autocompactante investigado. Esto confirma que los HAC presentan mayor homogeneidad que los HC.
- El efecto de las variables diámetro y estado de humedad del testigo del HAC estudiado, es similar a los HC analizados por otros investigadores. El diámetro casi no presenta influencia, mientras que el estado de humedad tiene una significación muy notable.



- El paso a través de la armadura en el HAC presentó una ligera influencia, no superior al 5%. Se comprueba la teoría relacionada con la capacidad que tiene el HAC de fluir por su propio peso a través de elementos con gran cantidad de armadura, dado que en los ensayos la malla de paso colocada era la más estricta posible.
- La relación de la resistencia de la probeta testigo con respecto a la resistencia de la probeta moldeada, disminuye al aumentar la resistencia del hormigón autocompactante investigado. Aproximadamente el valor de esta relación es 1,03 para probetas cilíndricas con resistencias menores e iguales a 60 MPa y 0,90 para resistencias mayores de 60 MPa. Es decir que la diferencia entre la resistencia de la probeta testigo y la cilíndrica es menor en los HAC que en los HC.

## **AGRADECIMENTOS**

Al Laboratorio Central del Instituto Técnico de Materiales y Construcciones (INTEMAC) y a la empresa PRAINSA.

## **REFERENCIAS**

- [1] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE ACI 214.4R-03. - Guide for obtaining cores and interpreting compressive strength results. 2003.
- [2] ARIÓZ, et al. - Some factors influencing effect of core diameter on measured concrete compressive strength. ACI Materials journal. 2007.
- [3] ASTM C 42-90. Test for obtaining and testing drilled cores and sawed beams of concrete, Annual Book of ASTM Standards. 1994.
- [4] BARTLETT, F.M y MACGREGOR, J.G. -Effect of moisture condition on concrete core strengths. ACI Materials Journal. V. 91. N°3, pp. 227-236. 1994.
- [5] BLOEM, D.L. - Concrete strength measurements - cores versus cylinders. Proceedings, ASTM International. V. 65. pp. 668-696. 1965.
- [6] BRITISH STANDARD. BS 6089:1981. - Part 120: Method for determination of the compressive strength of concrete cores. British Standards Institution, BSI. 1983.
- [7] BUNGEY, J.H. - Determining concrete strength by using small diameter cores. Magazine of Concrete Research. V. 31. N°. 107, pp. 91-98. 1979.
- [8] CONCRETE SOCIETY. - Concrete core testing for strength. Concrete Society. Technical report N°11. London. 59 p. 1987.
- [9] DELIBES, A. - Análisis de la influencia de algunas variables en la extracción y ensayo a compresión de probetas testigo de hormigón. Informes de la construcción del Instituto Eduardo Torroja. Madrid, V. 27. N°266. pp. 65-78. 1974.
- [10] FERNÁNDEZ, J. et al. Evaluación de la capacidad resistente de estructuras de hormigón. Instituto Técnico de Materiales y Construcciones (INTEMAC). pp. 14-63. 2001.
- [11] GIBBS, J.C y ZHU, W. - Strength of hardened self compacting concrete. In 1st International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete: Stockholm, Sweden. pp. 199-209. 1999.
- [12] MALHOTRA, V.M. - Contract strength requirements: cores versus in situ evaluation. ACI Journal. Proceedings V. 74, N°.4, pp.163-172. 1977.

- [13] MONTGOMERY, D. - Diseño y análisis de experimentos. Universidad estatal de Arizona. Segunda edición. Limusa Wiley. 2002.
- [14] MUNDAY, J.G.L. y DHIR, R.K. - Assessment of in situ concrete quality by core testing. IN: MALHOTRA, U.M. In situ non-destructive testing. Detroit, ACI. pp.393-410. 1984.
- [15] NEVILL, A.M. - Concrete Technology. England: Logman Scientific and technology..439 p. 1999.
- [16] PERSSON, B. - A comparison between mechanical properties of self-compacting concrete and the corresponding properties of normal concrete. Cement and Concrete Research 31, pp.193-198. 2001.
- [17] PETERSONS, N. - Recommendations for estimation of quality of concrete in finished structures. Materials and structures/research and testing V. 4, N°24, Paris. pp.379-397. 1971.
- [18] PETERSONS, N. Strength of concrete in finished structures. Swedish Cement and Concrete Research Institute. 189 p. 1964.
- [19] POPOVICS, S.. - Effect of curing method and final moisture condition on compressive strength of concrete. ACI Journal, Proceedings, V. 83. N°4, pp. 650-657. 1986.
- [20] UNE-EN 12504-1:2001. - Ensayos de hormigón en estructuras. Parte 1: Testigos. Extracción, examen y ensayo. AENOR. 2001.
- [21] YIP, W.K y TAM, C.T. - Concrete strength evaluation through the use of small diameter cores. Magazine of concrete Research V. 40, N°143, pp.99-105. 1988.
- [22] ZHU, W., GIBBS, J.C. y BARTOS, P.J.M. - Uniformity of in situ properties of self-compacting concrete in full-scale structural elements. Cement and Concrete Composites V. 23, N°1, pp.57-64. 2001.